

城市化与生态环境的耦合度模型及其应用

宋学锋, 刘耀彬

(中国矿业大学管理学院 江苏徐州 221008)

[摘要] 在城市与生态环境耦合规律的基础上,利用协同论的观点构筑了它们之间交互作用的耦合度模型。模型包括两部分,即耦合度计算模型和耦合度预测模型。耦合度计算模型由功效函数、耦合度函数和城市化-生态环境耦合评价指标体系构成,其中指标体系的选择是耦合度计算正确与否的关键。耦合度预测模型采用人工神经 BP 反馈网络。最后,以徐州市为研究对象,应用此模型研究了该市城市化与生态环境耦合的现状和发展趋势,为协调好它的城市化与环境建设提供了量化的决策依据。

[关键词] 城市化 生态环境 耦合度 预测

[中图分类号] X171.1 TU984.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2005)05-0031-03

COUPLING DEGREE MODEL OF URBANIZATION AND ECOLOGICAL ENVIRONMENT AND ITS APPLICATION

SONG XUE-feng, LIU YAO-bin

(School of Management, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, Jiangsu Province, China)

Abstract: Based on Synergistic Theory and the coupling rule between urbanization and ecological environment, the Coupling Degree Model of urbanization and ecological environment has been put forward, which is composed of two parts, i.e. Coupling Degree Model and Forecasting Model. The Coupling Degree Model includes Efficacy Function, Coupling Degree Function and its index system, in which the index system is crucial and determines its available application. Forecasting Model of Coupling Degree adopts BP network according to artificial network characteristics. At last, the coupling degree and forecasting coupling degree of Xuzhou city have been investigated and to some quantitative suggestions developed.

Key Words: urbanization, ecological environment, coupling degree, forecasting

CLC Numbers: X171.1 TU984.2

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2005)05-0031-03

1 引言

城市化是指人口向城镇或城市地带集中的过程,从其实质来看,它是一个人口经济化、社会化和产业的高级化过程。在区域不断加速的城市化过程中,人口得以集中,经济得以发展,产业得以升级,而作为支撑的基础——生态环境,却有可能面临着退化,因为城市化与生态环境存在先天耦合的机理。一方面,城市化通过人口集聚、经济发展、能耗增加和交通扩张对生态环境产生胁迫;另一方面,生态环境的保护又通过限制人口、排斥资本和干预政策对城市发展产生约束。一般来说,依据城市化与生态环境交互作用的强弱程度,一般可以将其耦合的过程划分为低水平耦合、拮抗、磨合和高水平耦合 4 个阶段^[1]。所以,从某个角度看,区域的社会经济发展过程就是城市化与生态环境耦合协同的过程,如果区域城市化发展速度过快,超出生态环境可以消化与承载的能力,则区域生态环境会出现恶化,城市化进程最终会被遏制;如果生态环境建设投资速度过快,不符合资金利用的最优经济原则,城市化的正常发展速度就会因资金的缺乏而不能跟上,生态环境也将最终失去经济的依托。可见,评价区域城市化与生态环境的耦合程度及调控好二者的发展关系,是区域人口、社会、经济与环境可持续发展

的一个重要内容。

本文将以可持续发展理论为核心,利用协同论的观点建立一种城市化与生态环境的耦合度模型,试图来反映城市化与生态环境变化的耦合规律和特征,并应用此模型来研究徐州市城市化与生态环境交互耦合的变化趋势。

2 城市化与生态环境耦合度模型

耦合原本作为物理学概念,是指两个(或两个以上的)系统或运动形式通过各种相互作用而彼此影响的现象^[2]。耦合度就是描述系统或要素彼此相互作用影响的程度。从协同学的角度看,耦合作用和耦合程度决定了系统在达到临界区域时走向何种序与结构,或称决定了系统由无序走向有序的趋势。由协同学知,系统在相变点处的内部变量可分为快、慢弛豫变量两类,慢弛豫变量是决定系统相变进程的根本变量,即系统的序参量。系统由无序走向有序机理的关键在于系统内部序参量之间的协同作用,它左右着系统相变的特征与规律,耦合度正是反映这种协同作用的度量。由此,我们可以把城市化与生态环境两个系统通过各自的耦合元素彼此产生影响的程度定义为城市-生态环境耦合度,它的大小反映了对区域经济社会发展的贡献程度^[3,4]。本文

收稿日期: 2004-04-30

作者简介: 宋学锋, 江苏徐州中国矿业大学管理学院, 教授, 主要从事复杂性科学与管理复杂性研究; E-mail: sxsfeng@cumt.edu.cn

中的城市化与生态环境耦合度模型由耦合度模型与耦合度预测模型两部分组成。

2.1 耦合度模型

2.1.1 功效函数

设变量 $u_i (i=1, 2, \dots, n)$ 是城市-生态环境系统序参量, 其值为 $X_i (i=1, 2, \dots, n)$ 。 α_i, β_i 是系统稳定临界点上的序参量的上、下限值。因而城市-生态环境系统对系统有序的功效可表示为:

$$u_i = \begin{cases} (X_i - \beta_i) / (\alpha_i - \beta_i) & u_i \text{ 具有正功效} (i=1, 2, \dots, n) \\ (\beta_i - X_i) / (\beta_i - \alpha_i) & u_i \text{ 具有负功效} (i=1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (1)$$

式中, u_i 为变量 X_i 对系统的功效贡献大小。按(1)构造的功效系数具有如下特点: u_i 反映了各指标达到目标的满意程度, u_i 趋近 0 为最不满意, u_i 趋近 1 为最满意, 所以, $0 \leq u_i \leq 1$ 。

由于城市化与生态环境处于两个不同而又相互作用的子系统, 对子系统内各个序参量的有序程度的“总贡献”可通过集成方法来实现, 在实际部门中一般采用几何平均法和线性加权法^[5]:

$$U_A(u_i) = (\prod u_i)^{1/n} = \sum \lambda_i u_i \quad 0 \leq \lambda_i \quad \sum \lambda_i = 1 \quad (2)$$

式中, $U_A(u_i)$ 为子系统对总系统的总序参量, λ_i 为各个序参量的权重, A 为系统稳定区域^[6]。

2.1.2 耦合度函数

借鉴物理学中的容量耦合 (Capacitive Coupling) 概念及容量耦合系数模型^[7], 可以推广得到多个系统 (或要素) 相互作用耦合度模型, 即:

$$C_n = \{[(U_A(u_1) \cdot U_A(u_2) \cdot \dots \cdot U_A(u_n)) / (\prod (U_A(u_i) + U_A(u_j)))]^{1/n} \quad (3)$$

由此, 可以直接得到城市化与生态环境的耦合度函数, 它可以表示为:

$$C_{ue} = \{[U_A(u_1) \cdot U_A(u_2)] / [(U_A(u_1) + U_A(u_2))(U_A(u_1) + U_A(u_2))]\}^{1/2} \quad (4)$$

显然, 耦合度值 C_{ue} 介于 0 到 1 之间。当 $C \propto 1$ 时, 耦合度最大, 系统之间或系统内部要素之间达到良性共振耦合, 系统将趋向新的有序结构; 当 $C=0$ 时, 耦合度极小, 系统之间或系统内部要素之间处于无关状态, 系统将向无序发展; 当 $0 < C \leq 0.3$ 时, 城市化与生态环境的发展处于较低水平的耦合阶段, 此时城市化发展水平较低 (人口城市化水平一般在 30% 以下), 生态环境承载能力强, 城市化对环境破坏程度不大, 生态环境完全能够承载和消化城市化所带来的后果; 当 $0.3 < C \leq 0.5$ 时, 城市化与生态环境的发展处于拮抗时期, 这阶段城市化已经越过了它的发展拐点 (人口城市化水平达到 30%), 城市化进入快速发展时期, 它的发展急需大量的资金、资源和人口转移为支撑, 由此生态环境负载能力下降, 已不能完全消化和吸纳城市化发展带来的影响; 当 $0.5 < C \leq 0.8$ 时, 城市化与生态环境的发展进入磨合阶段, 这时城市化又越过它的另一个拐点 (人口城市化水平超过 50%), 城市发展由于受到前期生态环境破坏的制约, 已经将其相当多的发展资金注入城市生态环境修复中, 城市化与生态环境开始良性耦合; 当 $0.8 < C < 1.0$ 时, 城市化水平不仅在量方面得到很大发展 (人口城市化水平超过 70%), 其质的方面也明显提高, 生态城市化和城市生态化已经成为人们生活的基本目标, 城市化与生态环境建设相得益彰、互相促进, 它们共同步入高水平耦合阶段。当然, 由于政策及突变因素的影响, 城市化与生态环境有可能退化到以前的耦合阶段。

2.1.3 耦合度指标体系和序参量上下限确定

确定城市-生态环境耦合度指标体系的慢弛豫变量有一定原则: ① 应该体现出城市化与生态环境耦合规律, 其所选指标的代表性应较强; ② 体现人口、社会、经济和环境系统性, 即从比较全面的角度考察两个系统的重要控制变量; ③ 体现出政府方针政策对各地环保所产生的作用, 从污染治理、环保投入及资源的利用率等各方面加以考虑; ④ 近期与长期相结合, 动态与静态相结合, 并能根据实际情况及时补充、调整相关指标。序参量的上下限参照生态城市与可持续城市建设标准, 具体取值可参见各地规划时期值、对比标准值或理想值。

2.2 耦合度预测模型

由于城市化与生态环境交互耦合的阶段性和动态性和复杂性, 所以不能用一般的线性或非线形模型来预测其发展。我们根据人工神经网络能自动学习、联想存储和平行处理数据的特点, 选用了人工神经网络中应用最为普遍的 BP 反馈模型来预测耦合度动态变化情况。为了提高网络的性能, 减少其陷入局部极小的可能性, 提高收敛速度, 在算法上采用了动量法来实现。人工神经 BP 模型的训练函数、反馈函数与算法公式分别为^[8]:

$$\begin{cases} S_j = \sum w_{ij} u_i - \theta_j \\ L_i = \sum v_{ji} b_j - r_i \\ f(u_i) = 1 / (1 + e^{-u_i}) \\ W_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \Delta w_{ij} + \mu \Delta w_{ij}(t) \quad \Delta w_{ij} = \eta (\partial E / \partial W) \\ E(t) = 1/2 \sum (c_j(t) - d_j(t))^2 \end{cases} \quad (5)$$

式中 u_i, b_j 为序参量输入和隐含层输入, w_{ij}, v_{ji} 分别为输入层和隐含层的连接权值, θ_j, r_i 分别为输入层和隐含层的阈值, η 为动量因子, $c_j(t), d_j(t)$ 为实际输出与期望输出, E 为 t 时刻的误差。

3 实例研究

3.1 徐州市城市化与生态环境耦合的现状分析

3.1.1 耦合度指标体系构建与序参量上下限确立

徐州市位于江苏省的西北部, 是淮海经济区和东部陇海沿线的一个重要城市。近 10 年来徐州市城市化水平不断得到提高, 其经济得到了持续快速增长, 2002 年该市 GDP 达到 791 亿元, 人均 GDP 达到 8 763 元。作为一个老的能源与资源城市, 徐州市在努力提高城市化水平的同时, 大力进行产业结构调整, 加大了对无公害、洁净化生产的投入, 实施生态城市建设战略, 城市化发展与生态环境建设逐渐走上可持续发展之路。

根据徐州市城市化与生态环境发展的特征, 确定其耦合度模型的指标体系如图 1 所示。研究时期的指标值以 1990 年的实际值作为序参量的下限, 指标上限取自 2010 年徐州市经济规划与环境规划的相应目标值。

3.1.2 耦合度计算与现状分析

根据式(1)、式(2)和式(4), 分别计算出 1992~2002 年徐州市的城市化和生态环境综合序参量值, 以及城市化与生态环境耦合度 (表 1)。由表 1 可知以下 3 点。

1) 近 10 年来, 徐州市城市化综合序参量呈不断加大趋势, 但它对系统的“贡献值”较小, 不超过 0.4。城市化综合序参量增长较快主要得益于该市人口城市化水平的较快增长, 其平均每年以 0.04 个百分点递增, 速度快于全国平均 (全国

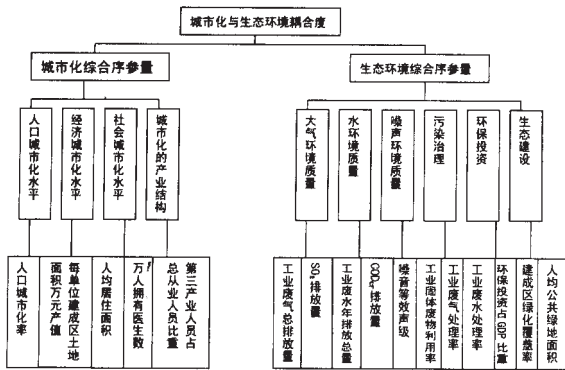


图1 徐州市城市化与生态环境耦合度指标体系

为0.034百分点),但由于发展基础制约,目前的水平依然未越过30%的拐点(2002年为27.7%),导致该市城市化内涵发展不足,表现在城市化的综合序参量上的数值都不大。

2) 生态环境综合序参量呈现波动态势,而整个序参量数值都较大。这一方面反映徐州生态环境建设情况基本良好,另一方面暗示着它的环境保护政策执行的随意性较大,使得综合序参量变动较大,而且近4年生态环境质量还有下降的趋势。

3) 模型求出的耦合度逐渐呈现不断加大趋势,但耦合度整体数值较小。这表明该市城市化与生态环境正在逐步向拮抗时期过渡,但目前基本还处于较低水平的耦合阶段,城市化发展与生态环境建设交互带动作用并不十分理想。所以根据其二者的耦合规律,目前该市面临的一个重要任务就是:在严格执行环保政策和注意环保建设的前提下,大力提高城市化水平。

表1 徐州市城市化、生态环境综合序参量值和耦合度值

年份	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
城市化综合序参量	0.04	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.28	0.32	0.36	0.37	0.35
生态环境综合序参量	0.39	0.52	0.49	0.48	0.52	0.40	0.53	0.60	0.58	0.42	0.30
耦合度	0.08	0.15	0.19	0.21	0.21	0.24	0.23	0.23	0.24	0.25	0.25

3.2.2 徐州市城市化与生态环境耦合发展预测

3.2.1 神经网络模型训练

为了预测的简易性,我们分别选取1992~1998年的人口城市化水平和SO₂的排放量作为控制因子,将计算得出的耦合度作为输出因子,进行神经网络建模并训练。显然,本神经网络的输入层神经元个数为2,而输出层神经元个数为1。为了保证隐含层的神经元个数较少,我们进行人工赋值,然后递加并进行调节,这样便于网络较快收敛,同时提高预测结果的稳定性,最后得到的隐含层神经个数为5。经过2464次迭代,网络基本稳定;再将1999~2002年徐州市城市化与生态环境耦合度的各项计算值作为检验样本,参与模拟。结果发现预测值与实际值较为吻合,误差较小,模型确实可行(见表2)。

表2 神经网络检验及误差

年份	1999	2000	2001	2002
样本值	0.226	0.235	0.249	0.248
模拟值	0.232	0.242	0.249	0.241
相对误差	-0.006	-0.007	0.000	0.007

3.2.2 预测结果分析

利用已经建好的神经网络模型,将2003~2010年的徐

州市城市化与生态环境序参量的实际值、规划值及推算值作为网络输入,模拟得到8年间二者的耦合度值(表3)。从表3,可以看出徐州市在2003~2010年内城市化与生态环境的耦合度呈逐渐增大趋势,但耦合度依然偏低,基本以低度耦合为主,表明该市城市化与生态环境依然处在由低度耦合向拮抗过渡的时期。可见随着今后徐州城市化的迅速发展,它面临的生态环境压力是相当严峻的。

表3 徐州市城市化与生态环境耦合度预测值

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
耦合度	0.232	0.232	0.232	0.236	0.247	0.275	0.370	0.438

4 结论

通过建模和实例研究,可以得出如下4点结论。

1) 城市化与生态环境之间存在着交互耦合关系,它们共处于城市-经济-环境大系统之中,但作为两个子系统,它们之间的相互作用存在着低水平耦合、拮抗、磨合和高水平耦合的4个阶段,协调好二者的发展关系是城市-经济-环境大系统良性发展的一个基础。

2) 城市化与生态环境耦合度,是表征城市化与生态环境交互作用过程中序参量之间协同作用的强弱程度,它体现出系统由无序走向有序的趋势。根据研究的需要,耦合度模型由两部分组成,即耦合度模型和耦合度预测模型。耦合度模型分别由功效函数、耦合度函数和耦合度指标体系构成。其中,功效函数中序参量的上下限和耦合度指标体系的建立是模型能正确应用的关键。

3) 采用耦合度模型对徐州市近10年来的城市化与生态环境耦合现状进行了分析。该市二者的耦合度呈现不断加大趋势,但耦合度整体数值较小,这说明尽管该市城市化与生态环境有着向拮抗时期过渡的倾向,但目前基本还处于较低水平的耦合阶段,城市化发展与生态环境建设交互带动作用并不十分理想。

4) 利用耦合度预测模型模拟了2002年后8年的耦合度变化情况。从拟合的数值看,耦合度呈逐渐增大趋势,但数值依然偏小,表明该市的发展正处于二者的低度耦合和拮抗过渡时期,预示未来徐州的生态环境建设面临的压力很大。

参考文献(References)

- [1] 黄金川,方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析[J]. 地理研究, 2003, 22(2): 212~220
- [2] 周宏,等. 现代汉语辞海[M]. 北京: 光明日报出版社, 2003. 820~821
- [3] 吴大进,曹力,陈立华. 协同学原理和应用[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990. 9~17
- [4] 吴跃明,张子珩,朗东锋. 新型环境经济协调度预测模型及应用[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1996, 32(3): 466~473
- [5] 曾珍香. 可持续发展协调性分析[J]. 系统工程理论与实践, 2001(3): 18~21
- [6] 孟庆松,韩文秀,金锐. 科技-经济系统协调模型研究[J]. 天津师范大学学报(自然科学版), 1998, 18(4): 8~12
- [7] Valerie Illingworth. The penguin dictionary of physics[M]. Beijing: Foreign Language Press, 1996. 92~93
- [8] 丛爽. 面向MATLAB工具箱的神经网络理论与应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2003. 55~87

(责任编辑 邱夜明)